

Узкополосная ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ РАДИОСЕТЬ УКВ диапазона для полигонных комплексов различного назначения

ООО «НЦПР» (Технический бюллетень)

В настоящей статье представлена краткая информация о технологических радиосетях управления и сбора данных на узкополосных радиомодемах диапазона ультракоротких волн (УКВ), обеспечивающих функционирование военных и гражданских полигонов различного назначения. Статья предназначена для руководителей и технических специалистов, связанных с созданием и эксплуатацией распределенных автоматизированных систем удаленного управления и сбора данных наземного (надводного) и воздушного базирования.

3. Военные полигонные радиосети

В состав военного полигона, в зависимости от его размера и назначения, могут входить различные службы: охраны и пожарной безопасности, транспортная, коммунальная, энергоснабжения, баллистическая, телеметрическая, астрономо-геодезическая, метеорологическая и другие, функционирование которых должно обеспечиваться техническими средствами службы связи полигона — полигонными радиосетями.



Общевойсковой [военный полигон Вооружённых сил Российской Федерации](http://www.wikipedia.tel/Военный_полигон) Цугол

(www.wikipedia.tel/Военный_полигон)

Основными задачами узкополосной технологической радиосети обмена данными УКВ диапазона на таких полигонах являются:

- сбор данных от размещенного на полигоне контрольно-измерительного оборудования, включая средства внешнетраекторных измерений и метеостанцию;
- передача телеметрической информации с подвижных наземных (надводных) и воздушных объектов, включая высокоскоростные;
- обмен данными между подвижными и стационарными объектами различного назначения в границах полигона;
- управление и мониторинг технического состояния специального оборудования, включая стационарные и движущиеся мишени и имитаторы;
- трансляция сигналов единого времени в интересах синхронизации работы полигонных комплексов;
- передача метеорологической информации;
- управление, мониторинг работы и технического состояния вспомогательных инженерных систем (электро-, тепло- и водоснабжения).

В зависимости от типа обслуживаемых объектов и решаемых функциональных задач такие радиосети можно условно разделить на стационарные и подвижные.

В чем разница?

Стационарные радиосети проектируются для работы в заранее известных и мало меняющихся условиях приёма радиосигнала. При их создании возможно применение высокоэффективных антенно-фидерных устройств с малыми потерями и высоким коэффициентом усиления. Они функционируют, как правило, в зоне электромагнитной доступности (ЭМД) одной базовой станции (БС) и никогда не перемещаются в зоны ЭМД соседних БС.

Условия приёма радиосигнала в подвижной радиосети изменяются постоянно. Кроме того, подвижные радиосети предполагают возможность перемещения обслуживаемого объекта и обусловленные этим изменения в структуре радиосети и потоках данных через соседние базовые станции. Такая «мелочь» делает построение подвижных технологических радиосетей на порядок сложнее, нежели их стационарных собратьев. А применение на подвижных объектах, как правило, всенаправленных антенн с менее высоким, по сравнению с используемыми в стационарных радиосетях направленными антеннами, коэффициентом усиления радиосигнала, требует более тщательного частотно-территориального планирования. Хотя все это давно не является большой проблемой для профессиональных связистов, такие возможности должны поддерживаться применяемыми радиотехническими и программными средствами.

Выбор технических средств для создания стационарных и подвижных узкополосных технологических радиосетей УКВ диапазона производится с учетом широкого набора требований, включая размеры, рельеф, назначения полигона, а также решаемые функциональные задачи. С этой целью могут

использоваться «прозрачные»¹ или «пакетирующие»² радиомодемы.

1. Радиосеть на «прозрачных» радиомодемах

Прозрачный радиомодем – устройство, выполняющее побитную передачу цифровых данных без их промежуточного преобразования. Радиомодемы данного типа ещё называют телеметрическими, поскольку они обеспечивают минимальное время доступа к радиоканалу и не добавляют к потоку данных служебной информации.

Одна из первых полигонных радиосетей на прозрачных радиомодемах была развернута на Семипалатинском ядерном полигоне³ (общая площадь полигона составляла 18 500 км²) в рамках Договора между Союзом Советских Социалистических Республик и Соединенными Штатами Америки об ограничении подземных испытаний ядерного оружия (вступил в силу 11 декабря 1990 года). Радиосеть обеспечивала сбор данных от сети сейсмических датчиков, размещенных непосредственно на полигоне. Контроль за подземными ядерными испытаниями может производиться как космическими средствами наблюдения, так и наземными сейсмическими станциями, однако, получение данных от установленных непосредственно на полигоне измерительных средств явилось наиболее надёжным и, что немаловажно, недорогим средством контроля.

Вышеуказанная радиосеть была развернута с использованием радиомодемов T-modem, технические характеристики которых представлены в Таблице 1.

1. Технические характеристики радиомодема T-modem.

Общие характеристики	Радиомодем T-modem
Диапазон частот, МГц	403–430; 450–512
Шаг сетки частот, кГц	25
Потребляемый ток:	
- приём, мА	50 (70 при подключенном внешнем устройстве)
- передача, мА	900
Рабочее напряжение, В	10–16, постоянный ток
Рабочая температура, °С	от -30 до 60
Влажность, %	96 (при температуре 40°С без образования конденсата)



Максимальная высота использования, м	3000
Габаритные размеры, см	19 (Ш) x 14 (Г) x 4 (В)
Масса (в упаковке), кг	0,36
Рабочий режим	Симплекс, полудуплекс (дуплекс при использовании двух радиомодемов)
Приемник	
Чувствительность (вероятность ошибки 1×10^{-6}), дБм:	
- 25 кГц	-107 (4,8 кбит/с)
Передачик	
Полоса пропускания без подстройки, МГц	27 (403–430 МГц), 30 (450–480 МГц), 32 (480–512 МГц)
Выходная мощность при напряжении 13,6 В, Вт	2
Импеданс, Ом	50
Цикл работы на передачу, %	50
Стабильность частоты, ppm	5,0
Интерфейсы	RS-232 (DB9)
Антенна	BNC (мама)
Модем	
Скорость, кбит/с	1,2; 4,8; 9,6 (настраивается оператором)
Индикация	Питание, приём/передача
Вид модуляции	MSK (12 или 2,4 кбит/с); DGMSK (4,8 или 9,600 кбит/с)

Аналогичные радиомодемы применялись на военном полигоне Израиля при разработке авиационной техники. Радиосеть использовалась для трансляции дифференциальной поправки в интересах высокоточного позиционирования и передачи навигационной информации с борта летательного аппарата. В связи с тем, что для решения вышеуказанной задачи весьма критичной является задержка в доставке информации, был использован «прозрачный» радиомодем, а работа базовой станции организована в дуплексном режиме, позволившем одновременно транслировать дифференциальную поправку и принимать навигационные данные с борта.

В составе современных узкополосных полигонных радиосетей, развернутых на территории Российской Федерации, применяются радиомодемы T-96SR (снят с производства, но продолжает эксплуатироваться) и Guardian (полностью совместим с первым и может использоваться совместно с ним в единой радиосети).

Технические характеристики «прозрачных» радиомодемов семейства Guardian представлены в Таблицах 2 и 3.

2. Технические характеристики радиомодема Guardian.


Общие характеристики	Радиомодем Guardian	
		
	ОВЧ	УВЧ
Диапазон частот, МГц	136–174	406–470, 450–512
Шаг сетки частот, кГц	25 или 12,5 (настраивается программно)	
Тип излучения	9K55F1D, 9K35F1D, 11K6F1D, 14K6F1D, 16K4F1D	
Потребляемый ток:		
- приём, мА	360 (10 В); 200 (20 В); 150 (30 В)	
- передача 40 дБм (10 Вт), А	4,6 (10 В); 2,04 (20 В); 1,37 (30 В)	
- передача 30 дБм (1 Вт), А	1,2–3,6 (10 В); 0,6–1,8 (20 В); 0,4–1,2 (30 В)	
Номинальная задержка при холодном старте, с	20	
Рабочее напряжение, В	10–30, постоянный ток	
Рабочая температура, °С	от -30 до 60	
Температура хранения, °С	от -45 до 85	
Влажность, %	5–95 (без образования конденсата)	
Габаритные размеры, см	13,97 (Ш) x 10,80 (Г) x 5,40 (В)	
Масса (в упаковке), кг	1,1	
Рабочий режим	Симплекс, полудуплекс, дуплекс	
Приемник		
Чувствительность (вероятность ошибки 1×10^{-6}), дБм:		
- 25 кГц	-100 (19,2 кбит/с), -107 (9,6 кбит/с), -110 (4,8 кбит/с)	
- 12,5 кГц	-107 (9,6 кбит/с), -110 (4,8 кбит/с)	

Подавление помех по соседнему каналу, дБ	60/12,5 кГц; 70/25 кГц	
Интермодуляция, дБ	>75	
Избирательность, дБ	>70/25 кГц; >60/12,5 кГц	
Передатчик		
Полоса пропускания без подстройки, МГц	38	64 (406,1–470 МГц), 62 (450–512 МГц)
Выходная мощность при напряжении 13,6 В, Вт	1–10	
Время атаки, мс	<1	
Время переключения между каналами, мс	<15	
Импеданс, Ом	50	
Цикл работы на передачу, %	100	
Стабильность частоты, ppm	1,0	
Интерфейсы	RS-232 (DB9)	
Антенна	TNC (мама) – приём/передача, SMA (мама) – приём (для дуплексных моделей)	
Модем		
Скорость, кбит/с	4,8; 9,6; 19,2	
Индикация	Питание, состояние, подключение к ЛВС, работа ЛВС, приём/передача	
Вид модуляции	2FSK	

3. Технические характеристики базового радиомодема/ретранслятора T-Base (Guardian).

Общие характеристики	Базовая станция/ретранслятор T-Base (Guardian)	
		
	ОВЧ	УВЧ
Диапазон частот, МГц	136–174	406–470, 450–512
Шаг сетки частот, кГц	25 или 12,5	
Тип излучения	9K55F1D, 9K35F1D, 11K6F1D, 14K6F1D, 16K4F1D	

Общие характеристики	Базовая станция/ретранслятор T-Base (Guardian)	
		
	ОВЧ	УВЧ
Потребляемый ток:		
- приём	360 мА (10 В); 200 мА (20 В); 150 мА (30 В)	
- передача 40 дБм (10 Вт)	4,6 А (10 В); 2,04 А (20 В); 1,37 А (30 В)	
- передача 30 дБм (1 Вт)	1,2–3,6 А (10 В); 0,6–1,8 А (20 В); 0,4–1,2 А (30 В)	
Номинальная задержка при холодном старте, с	20	
Рабочее напряжение, В	10–30, постоянный ток	
Рабочая температура, °С	от -30 до +60	
Температура хранения, °С	от -45 до +85	
Влажность, %	5–95, без образования конденсата	
Габаритные размеры, см	13,1 (Ш) x 47,5 (В) x 23,1 (Г)	
Масса (в упаковке), кг	5,2, с дуплексером	
Рабочий режим	Симплекс, полудуплекс, дуплекс	
Приемник		
Чувствительность (вероятность ошибки 1×10^{-6}), дБм:		
- 25 кГц	-100 (19,2 кбит/с), -107(9,6 кбит/с), -110 (4,8 кбит/с)	
- 12,5 кГц	-107 (9,6 кбит/с), -110 (4,8 кбит/с)	
Подавление помех по соседнему каналу, дБ	60/12,5 кГц; 70/25 кГц;	
Интермодуляция, дБ	>75	
Избирательность, дБ	>60/12,5 кГц; >70/25 кГц	
Передатчик		
Полоса пропускания без подстройки, МГц	38	64 (406,1–470 МГц), 62 (450–512 МГц)

Общие характеристики	Базовая станция/ретранслятор T-Base (Guardian)	
		
	ОВЧ	УВЧ
Выходная мощность при напряжении 13,6 В, Вт	1–10	
Время атаки, мс	<1	
время переключения между каналами, мс	<15	
Импеданс, Ом	50	
Цикл работы на передачу, %	100	
Стабильность частоты, ppm	1,0	
Интерфейсы	RS-232/422/485	
Антенна	N-типа (мама)	
Модем		
Скорость кбит/с	4,8; 9,6; 19,2	
Индикация	Питание, состояние, подключение к ЛВС, работа ЛВС, приём/передача	
Вид модуляции	2FSK	

Следует отметить, что выбор типа устройства («прозрачное» или «пакетирующее») определяется требованиями к полигонной радиосети.

Например, метеорологическая разведка⁴ в интересах работы полигона производится с использованием «прозрачных» радиомодемов, обеспечивающих подключение к технологической радиосети инструментальных средств, устанавливаемых как стационарно, так и на борту подвижных средств. При этом все инструментальные средства сбора метеорологической информации могут работать через единую радиосеть, работающую на постоянной основе или включающуюся в работу периодически, по мере необходимости. Проверка аэродромного полигонного радиотехнического оборудования выполняется, как правило, средствами автоматизированной системы летного контроля (АСЛК), устанавливаемыми на борту самолета-лаборатории. АСЛК позволяет за один пролет проверить до шести радиотехнических средств, включая радиотехнические системы ближней навигации, системы радиопеленгации, светосигнальное оборудование, аэродромный радиолокатор. Работа одного из таких комплексов в филиале «Аэроконтроль» ФГУП «Госкорпорация по ОрВД» (<https://gkovd.ru/branches/aerocontrol>) обеспечивается «пакетирующими» радиомодемами.

Как мы видим, для близких по функциональным возможностям систем использованы различные радиомодемы, которые будут описаны ниже.

Технические характеристики «прозрачных» радиомодемов в части скорости обмена данными в течение длительного времени успешной эксплуатации не претерпели принципиальных изменений. Типовые скорости обмена данными составляют 9,6 или 19,2 кбит/с. Это обусловлено реальными требованиями систем, которые радиосети на этих радиомодемах обслуживают — больше просто не требуется. Основными из этих требований являются:

- минимальная задержка в доступе к радиосети (радиоканалу);
- стабильность служебных задержек при передаче информации у каждой единицы оборудования одной модели⁵;
- достаточная дальность работы, составляющая, обычно, до 15 км для наземных и до 80 км для воздушных объектов;
- совместимость с различными внешними протоколами обмена данными.

Задержки при доставке информации связаны с выполнением служебных процедур, и в «прозрачных» радиомодемах они составляют единицы миллисекунд, в то время как в «пакетирующих» радиомодемах они являются недетерминированными (различаются по продолжительности) и могут составлять до четырех секунд. Типовые задержки в доставке информации для радиосети, построенной на «прозрачных» радиомодемах Guardian (относятся к третьему поколению данного оборудования) и включающей в себя базовую станцию (БС) и контролируемый пункт (КП), представлены в Таблице 4⁶.

4. Типовые задержки при обмене данными в «прозрачной» технологической радиосети УКВ-диапазона третьего поколения⁷.

Наименование микрооперации	Время выполнения, с	Время выполнения, %	Примечание
Установление связи между БС и КП	0,016	0,77%	Складывается из времени атаки передатчика радиомодема – 1 мс, и времени синхронизации – 15 мс в режиме DOX (25 мс в режиме RTS/CTS)
Передача запроса от БС к КП	0,00104	0,05%	
Обработка запроса контроллером телемеханики и генерация ответа	2	96,40%	
Установление связи между КП и БС	0,016	0,77%	
Передача ответа от КП к БС	0,04167	2,01%	
ИТОГО:	2,07471	100,00%	

Поскольку задержки, связанные с выполнением служебных операций в «прозрачных» радиосетях, существенно меньше, чем в «пакетирующих», их пропускная способность при трансляции определенных видов информации на одинаковых скоростях может оказаться выше, чем в последних. В отдельных случаях в «прозрачных» радиосетях она оказывается выше, чем в «пакетирующих», даже при передаче данных на более низких скоростях.

Особо следует отметить такой параметр, как стабильность служебных задержек при передаче информации у каждой единицы оборудования одной модели, который является критичным для функционирования, например, радиосетей сейсмического контроля. Значительная часть таких радиосетей на территории Российской Федерации была построена с использованием радиомодема T-96SR, у которого этот параметр является достаточно высоким и составляет менее 1%.

1. Радиосеть на «пакетирующих» радиомодемах

В дополнение к функциональным возможностям «прозрачных» радиомодемов и радиосетей на их базе «пакетирующие» радиомодемы предоставляют принципиально новые и позволяют гибко выполнять удаленную настройку радиосети, а также подключенного к ним оборудования. Кроме работы по последовательному порту, они обеспечивают подключение по сетевому интерфейсу и работу по протоколу TCP/IP, реализуя все возможности данного протокола обмена данными.

Однако, получение таких дополнительных возможностей связано с определенными ограничениями. Так, зависимость дальности работы любой радиосети и скорости обмена данными определена теоремой Шеннона-Хартли⁸. Но для «прозрачного» радиомодема дальность всегда оказывается выше в связи с тем, что для корректной передачи пакетных данных, имеющих большую длину, требуются и большие энергетические затраты (чем длиннее пакет, тем выше влияние замирания сигнала, которые можно максимально сократить за счет увеличения мощности сигнала).

Результаты сравнительных испытаний работы «прозрачных» и «пакетирующих» радиомодемов в одинаковых условиях в подвижной технологической радиосети представлены в Таблицах 5 и 6.

5. Результаты испытаний «прозрачного» радиомодема Guardian-100 на железнодорожном полигоне.

Уровень обнаружения несущей	Выходная мощность	Скорость передачи данных	Дальность радиосвязи
-110 дБм	10 Вт	4,8 кбит/с	18 км
		9,6 кбит/с	16,2 км
		19,2 кбит/с	12 км



6. Результаты испытаний «пакетирующего» радиомодема Viper-SC+ 100 на железнодорожном полигоне.



Уровень обнаружения несущей	Выходная мощность	Скорость передачи данных	Дальность радиосвязи
-110 дБм	10 Вт	16 кбит/с	5,3 км
		32 кбит/с	4,6 км
		48 кбит/с	3,6 км
		64 кбит/с	1 км

Испытания проводились при высоте подвеса антенн, не позволяющей организовать работу на номинальную дальность, но в данном случае производилась проверка дальности работы на различных скоростях при заданном уровне принимаемого сигнала. «Прозрачные» радиомодемы предъявляют меньшие требования к уровню принимаемого сигнала, нежели «пакетирующие», что отражено в их технических характеристиках и должно учитываться при проектировании полигонных радиосетей.

Технические характеристики «пакетирующих» радиомодемов семейства Viper-SC+ представлены в Таблице 7.

7. Технические характеристики радиомодемов семейства Viper-SC+ (диапазон ОВЧ).

Общие характеристики	Базовая станция Viper-SC+ base station		Радиомодем Viper-SC+	
				
Диапазон частот, МГц	136–174; 215–240; 406–470; 450–512			
Шаг сетки частот, кГц (настраивается программно)	50; 25; 12,5; 6,25			
Тип излучения	3K30F1D; 11K2F1D; 16K5F1D; 17K8F1D; 33K0F1D; 52K7F1D			
Номинальная задержка при холодном старте, с	60		35	
Рабочее напряжение, В	10–30 (постоянный ток)			
Рабочая температура, град. С	от-40 до +70			
Температура хранения, град. С	от-45 до +85, без образования конденсата			
Влажность, %	5–95, без образования конденсата			
Габаритные размеры, см	41 (Ш) x 12 (Г) x 29 (В)		13,97 (Ш) x 10,80 (Г) x 5,40 (В)	
Масса (в упаковке), кг	5,2		1,1	
Рабочий режим	симплекс/полудуплекс			

Общие характеристики	Базовая станция Viper-SC+ base station	Радиомодем Viper-SC+
		
Передачик		
Полоса рабочих частот, МГц	38	
Выходная мощность при напряжении 13,6 В, Вт	1–10	
Время атаки, мс	<1	
Время переключения между каналами, мс	<15	
Импеданс, Ом	50	
Цикл работы на передачу, %	100	
Интерфейсы	2 x RS-232 (DE-9F), 2 x 10Base-T RJ-45	2 x RS-232 (DE-9F), 10Base-T RJ-45
Антенна	N-типа (мама)	TNC (мама)
Приемник		
Чувствительность (вероятность ошибки 1×10^{-6}):		
- 25 кГц, дБм (при скорости обмена данными кбит/с)	-114 (16); -106 (32); -100 (48); -92 (64)	
Подавление помех по соседнем каналу, дБ	70	
Интермодуляция, дБ	>75	
Избирательность, дБ	>70	
Время переключения с приёма на передачу, мс	<2	
Время переключения между каналами, мс	<15	
Модем		
Скорость, кбит/с	4; 8; 12; 16; 24; 32; 48; 64	
Индикация	Питание, состояние, подключение к ЛВС, работа ЛВС, приём/передача	

Общие характеристики	Базовая станция Viper-SC+ base station	Радиомодем Viper-SC+
		
Вид модуляции	2FSK, 4 FSK, 8FSK, 16FSK	
Адресация	IP	

Применение в составе полигонных узкополосных радиосетей обмена данными «пакетирующих» радиомодемов обусловлено развитием полигонных и испытываемых на полигонах систем и комплексов, прежде всего, применением современных сетевых интерфейсов и протоколов обмена данными. При этом необходимая дальность работы таких радиосетей закладывается на этапе их проектирования и реализуется за счет обеспечения соответствующего заданной скорости номинального уровня принимаемого сигнала в заданной точке полигона.

Дополнительный толчок к использованию узкополосных полигонных радиосетей дало развитие беспилотной и робототехники, поскольку, независимо от уровня автоматизации или роботизации объекта, оператор должен в реальном времени получать информацию о месте его нахождения, результатах выполнения поставленной задачи, техническом состоянии и готовности к продолжению работы. Кроме того, в идеале, он должен иметь возможность принудительного прекращения и удаленного изменения программы выполнения задания беспилотным аппаратом/роботом. Использование «пакетирующих» радиомодемов дополнительно предоставляет оператору возможность производить удаленную настройку контролируемого объекта или его агрегатов в процессе выполнения поставленной задачи, что существенно сокращает потребности во времени пребывания на полигоне для решения конкретной задачи, например, в ходе разработки и испытаний боевой техники и вооружения.

(Продолжение следует)

Сноски

1. **«Прозрачный» радиомодем** – устройство, выполняющее побитную передачу цифровых данных без их промежуточного преобразования. Радиомодемы данного типа ещё называют телеметрическими, поскольку они обеспечивают минимальное время доступа к радиоканалу и не добавляют к потоку данных служебной информации. ↩
2. **«Пакетирующий» радиомодем** – устройство, выполняющее передачу цифровых данных с их промежуточным преобразованием, разделением на пакеты (определенным образом оформленные блоки [данных](#)). Кроме передаваемых данных каждый пакет содержит служебную информацию, обеспечивающую поддержку соответствующего пакетного протокола. ↩
3. **Семипалатинский испытательный полигон** – первый и один из крупнейших [ядерных полигонов СССР](#), также известный как «СИЯП» — Семипалатинский испытательный ядерный полигон. Официальное название: 2-й Государственный центральный научно-исследовательский испытательный полигон (2 ГЦНИИП). В среде испытателей полигон получил неофициальное название «двойка». ↩

4. Метеорологическая разведка (разведка погоды) – инструментальные и визуальные наблюдения за погодой в определённом районе в заданный момент (промежуток времени). Проводится в целях определения (уточнения) зон облачности, осадков, грозových явлений, направления и скорости перемещения атмосферных фронтов и др. явлений погоды, влияющих на боевые действия войск (сил), проведение работ по ликвидации чрезвычайных ситуаций. ↩
5. В связи с тем, что при выпуске оборудования одной и той же модели может использоваться элементная база из различных партий, конечные изделия могут незначительно отличаться по данному параметру друг от друга. Элементная база при изготовлении упомянутых радиомодемов подвергается жесткому входному контролю, который предусматривает соблюдение требований, обеспечивающих соблюдение данного технического параметра. ↩
6. Не учитываются задержки при передаче данных по магистральным каналам связи от пункта диспетчерского управления до БС, поскольку эти задержки зависят от выбранной среды передачи и моделей магистрального оборудования. Оценка задержек производится с момента получения БС запроса от пункта диспетчерского управления до момента готовности к передаче ответа от КП в адрес пункта диспетчерского управления. ↩
7. Предполагается, что обмен данными в радиосети, а также между радиомодемом и контроллером телемеханики производится на скорости 19,2 кбит/с. Размер запроса составляет 20, а ответа – 800 байт. Исходные данные взяты для базовой модификации комплекса телемеханики «Телеканал-М2», поддерживающий обмен данными с пунктами управления с использованием стандартизированных протоколов ГОСТ Р МЭК 60870-5-101, ГОСТ Р МЭК 60870-5-104 и FT1.2 «Телеканал». ↩
8. **Теорема Шеннона-Хартли** в [теории информации](#) – теорема устанавливает шенноновскую емкость канала, верхнюю границу максимального количества безошибочных цифровых данных (то есть, информации), которое может быть передано по такой связи коммуникации с указанной полосой пропускания в присутствии шумового вмешательства, согласно предположению, что мощность сигнала ограничена, и гауссовский шум характеризуется известной [мощностью](#) или [спектральной плотностью мощности](#). ↩